

Ф.И. Яковлев, док. техн. наук, Харьков, Украина
В.П. Маршуба, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ НАГРЕВА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ДОЭВТЕКТНОЙ СТАЛИ НА КИНЕТИКУ $\alpha \rightarrow \gamma$ ПРЕВРАЩЕНИЯ

The results of the investigations on influencing the speed of heating by currents of high frequency of the steel on kinetics $\alpha \rightarrow \gamma$ of transformation are considered in the article. The given results help to define the dependence $\alpha \rightarrow \gamma$ of transformation for the speed of steel heating by currents of high frequency.

Закалка токами высокой частоты широко применяется для обработки различных деталей машин и агрегатов, поэтому исследование кинетики $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения имеет важное практическое значение. Так как закалка токами высокой частоты позволяет получить более высокие механические свойства по сравнению с объемной закалкой.

Исследовали влияние скорости нагрева токами высокой частоты на процесс аустенизации методом пробных закалок образцов диаметром 15 мм, изготовленных из стали 45. Образцы нагревали со скоростями 50° С/сек, 100° С/сек, 150° С/сек и 200° С/сек в интервале температур аустенизации. Закалку образцов осуществляли в индукторе – спрейлере. Продолжительность нагрева и охлаждения определялась с помощью реле времени. Микроструктуру закаленного слоя исследовали на микроскопе МИМ-8 при увеличении 500 раз. Полученные результаты исследований характеризуют кинетические кривые, приведенные на рис. 1.

Металлографическими исследованиями установлено, что отдельные микроучастки без игольчатого мартенсита имели место после закалки с температурой 750° С образцов, нагреваемых со скоростью 50° С/сек. Образовавшиеся микроучастки сполгались по границам зерен перлита. Наличие отдельных микроучастков мартенсита в нагреваемом слое позволяет предположить, что при скорости нагрева 50° С/сек стали 45 зародыши аустенита образуются по достижении температуры 750° С. А по диаграмме состояния железо – углерод процесс образования аустенита имеет место по достижении температуры 723° С. Отсюда следует, что нагрев со скоростью 50° С/сек смещает образование первых зародышей аустенита в стали 45 на 27° С/сек. В соответствии с диаграммой состояния железо – углерод превращение феррита в аустенит осуществляется при температуре линии GS. В закаленном слое образцов, нагреваемых со скоростью 50° С/сек, первые участки мартенсита были обнаружены после закалки с температурой 830° С. Небольшие, отдельные микроучастки мартенсита располагались по границам зерен феррита. Это позволяет, видимо, считать, что температура начала превращения феррита в

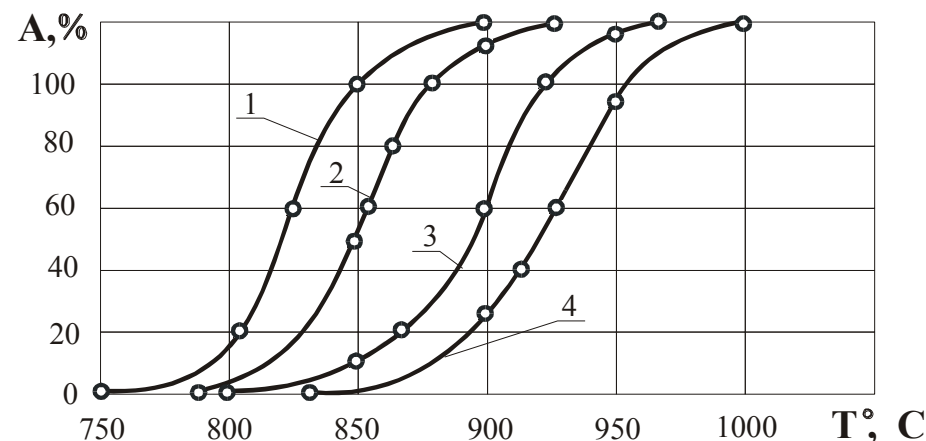


Рисунок 1 – Зависимость кинетики $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения от скорости нагрева токами высокой частоты стали 45. 1 – скорость нагрева 50° С/сек, 2 – скорость нагрева 100° С/сек, 3 – скорость нагрева 150° С/сек, 4 – скорость нагрева 200° С/сек.

аустенит смещается в область более высоких температур, по сравнению с температурой диаграммы состояния железо – углерод. При этом следует отметить, что в интервале температур 750...900° С, превращения $\alpha \rightarrow \gamma$ протекает с различными скоростями. Так, анализ кривой № 1 показывает в начальный момент процесс превращения перлита в аустенит, происходит относительно с небольшой скоростью. В интервале температур 800...850° С с максимальной скоростью происходит $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение. При температурах 850...900° С имеет место существенное снижение скорости образования аустенита.

Появление первых микроучастков аустенита по границам зерен перлита и феррита видимо, обусловлен следующими условиями:

- 1) с образованием на границах зерен перлита и феррита микроучастков с границей ориентированной кубической решеткой;
- 2) состав этих участков удовлетворяет условиям равновесия при температурах 750° С и 830° С при нагреве стали 45 со скоростью 50° С/сек;
- 3) микроучастки имеют критический размер, величина которого непрерывно изменяется в зависимости от повышения температуры и скорости нагрева стали 45.

В этих условиях происходит непрерывный процесс перемещения атомов в нагреваемом слое и как следствие образуются скопления микроучастков, имеющих критический размер, удовлетворяющий условиям соответствующей температуре при заданной скорости нагрева стали 45, причем и состав скопления этих микроучастков отвечает условиям равновесия температурам

интервала 750...900° С, то есть эти участки являются потенциальными зародышами аустенита. Учитывая неоднородность феррита по его составу на границах раздела фаз аустенит – феррит имеется достаточное количество микроучастков критического размера, что и обеспечивает относительно большую скорость превращения феррита в аустенит в ферритных зернах, расположенных по границам зерен перлита.

В условиях непрерывного повышения температуры длительность $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения определяется скоростью нагрева образцов. Скорость образования зародышей аустенита в основном зависит от температуры, а скорость их роста от температуры и от диффузионных процессов. Известно, что диффузионные процессы протекают во времени, а при нагреве токами высокой частоты продолжительность времени очень малая, поэтому первоначальные участки аустенита по своему составу будут существенно отличаться от состава участков аустенита, образовавшихся при завершении процесса $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения.

Дозвтектоидные стали, отличаются от стали 45 лишь содержанием углерода. Поэтому рассмотренный механизм образования аустенита при нагреве токами высокой частоты стали 45, видимо мало изменится при нагреве различных марок дозвтектоидной стали. Различие будет иметь место лишь по степени однородности состава аустенита. В сталях, имеющих меньшее содержание углерода, чем у стали 45, аустенит будет менее однороден по своему составу, а в сталях с большим содержанием углерода – будет более однороден по концентрации углерода.

Существенную значимость для получения высоких механических свойств имеет возможность образования мелкозернистой структуры аустенита, так как она обуславливает размер игл мартенсита, образующихся в процессе закалки стали, а, следовательно, и его механические свойства. Микроструктурные исследования показали, что с повышением скорости нагрева образцов от 50° С/сек до 200° С/сек микроструктура мартенсита изменяется от мелкоигльчатого мартенсита с отдельными участками среднеигльчатого до безигльчатого. Такая зависимость объясняется тем, что ростом скорости нагрева от 50° С/сек до 200° С/сек скорость образования зародышей аустенита превышает скорость их роста. Превращения осуществляются по двум одновременно идущим параллельным процессам, а именно по процессу полиморфного превращения на границе раздела фаз и растворения цементита перлита в аустените. Поэтому, чем выше скорость нагрева стали, тем существенно опережает скорость процесса полиморфного превращения скорость диффузионного насыщения аустенита, особенно тех его участков, которые образовались в ферритных зернах. И как следствие с ростом скорости нагрева увеличивается неоднородность аустенита по углероду.

Анализ кинематических кривых № 2, № 3, № 4 показывает, что с повышением скорости нагрева от 50° С/сек до 200° С/сек несколько смещается температура начала образования мартенсита, но и чем выше скорость нагрева

образцов, тем при одной и той же температуре образуется меньше аустенита. Аналогичная зависимость наблюдается и при завершении процесса $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения. Это связано с превращением избыточного феррита. Видимо участки избыточного феррита превращаются по полиморфному превращению при меньших температурах, чем температуры, характеризующиеся кинетическими кривыми. Причиной данного явления очень малый промежуток времени, что не позволяет обеспечивать необходимую концентрацию углерода в аустените за счет его диффузии. Поэтому участки аустенита с очень малой концентрацией углерода не превращаются в мартенсит при спрейнном охлаждении водой, имеющей температуру 18...20° С. для обеспечения насыщения данных участков аустенита углеродом диффузионным до концентрации, позволяющей им превращаться в мартенсит при охлаждении водой необходимо сталь 45 нагревать до более высокой температуры. И так как избыточного феррита в стали 45 относительно небольшое количество, то на кинетических кривых фиксируется замедление $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения в момент его завершения при всех скоростях нагрева.

Таким образом, на основании полученных результатов проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При всем интервале исследованных скоростей нагрева имеет место смещение температуры начала образования аустенита тем больше, чем выше скорость нагрева токами высокой частоты стали 45;

2. Скорость образования зародышей аустенита превышает скорость их роста, что позволяет, даже при относительно высоких температурах нагрева стали токами высокой частоты получать мелкозернистую структуру аустенита, обеспечивающую при закалке образование в основном мелкоигльчатого и безигльчатого строения мартенсита;

3. В условиях нагрева токами высокой частоты с исследованными скоростями, по объему в образцах образуется аустенит очень неоднородный по содержанию углерода.

Поступила в редколлегию 20.11.02